

TERMOFOSFATOS EN HORNO DE INDUCCIÓN A PARTIR DE ROCA FOSFÓRICA

SECTOR TECNOLÓGICO

5 La presente invención proporciona un proceso para la obtención de termofosfatos en horno de inducción a partir de roca fosfórica. La presente invención pertenece al campo técnico de los fertilizantes fosfatados; específicamente, a los fertilizantes producidos por calcinación de rocas fosfatadas.

10

ESTADO DE LA TÉCNICA

La mayoría de fertilizantes fosfatados usados en la actualidad utilizan medios mecánicos y de acidulación para generar una mayor cantidad de fosforo soluble, generando un impacto químico y de una u otra manera ambiental, por la necesidad de reciclar y tratar los reactivos y ácidos necesarios para la operación. Los fertilizantes acidulados también pueden generar una alteración en la interacción natural del suelo-planta, creando posteriores procesos de recuperación y tratamiento de cultivos, es por esto que los fertilizantes minerales tratados térmicamente, “termofosfatos”, toman fuerza, creando una alternativa más limpia y con cantidades de solubilidad de fosforo en iguales o mayores cantidades que los fertilizantes acidulados.

20

Los termofosfatos presentan la ventaja sobre los super-fosfatos y demás fertilizantes fosfatados, en que los primeros no hacen uso de ácidos o reactivos fuertes para aumentar la cantidad de fosforo soluble o disponible, creando un producto de iguales o mejores niveles de solubilidad de fosforo sin posteriores reprocesos de tratamiento y recuperación de solventes, aditivos y ácidos, además de un proceso más amigable ambientalmente y que no sugiere una nivelación de basicidad o acidez en los cultivos en los cuales se aplica el fertilizante, debido igualmente al no uso de ácidos.

25

30 Cabe resaltar, que los termofosfatos son producidos por múltiples empresas, haciendo uso de mineral fosfatado y algunos aditivos, pero todo esto alcanzando la fusión del mineral en horno eléctricos de arco, que generan una elevada energía y asimismo exigen cantidades elevadas de carga, superiores a las 2 toneladas.

35

La producción de termofosfatos en horno de inducción no se realiza actualmente debido a la imposibilidad de generar un cambio de fase del mineral fosfatado ya que el horno de inducción no genera la temperatura necesaria para crear alguno tipo de fusión o tratamiento considerable sobre la roca fosfórica.

En el estado de la técnica se han divulgado algunos procesos para la obtención o elaboración de fertilizantes fosfatados o termofosfatados. A continuación, se presentan algunos documentos de patente que tratan el tema:

- 5 La solicitud de patente JPH0891972 trata el proceso de fabricación de fertilizantes a partir de residuos de un material que contiene sal residual de ácido fosfórico generado por un proceso de tratamiento superficial de metales, un compuesto de metal alcalino o un compuesto de metal alcalinotérreo a alta temperatura. El proceso parte de una solución residual de ácido fosfórico (sal) generada en el proceso químico de tratamiento superficial
10 para acero o aluminio, se neutraliza con un álcali tal como lechada de cal y se somete a filtración; la torta húmeda obtenida de fosfato de calcio y fosfatos metálicos que tienen 50-80 % en peso de agua se seca hasta un contenido en agua de 1-10 % en peso para obtener una torta de ácido fosfórico residual; una mezcla de materia prima obtenida mezclando la torta seca con sílice, un compuesto de metal alcalino o de metal alcalinotérreo y
15 opcionalmente roca fosfórica se añade con un compuesto de calcio; después de ajustar la proporción de P_2O_5 en la torta de ácido fosfórico residual / P_2O_5 en la mezcla de materia prima a $\leq 50\%$ en peso y la relación molar de CaO / P_2O_5 en la mezcla de materia prima es de 3-4, la materia prima material se funde o se cuece a temperaturas mayores a 1400 °C. El material fundido o cocido se vierte en agua fría y el sólido se recupera, seca y
20 pulveriza.

El documento de patente US8034149 se refiere a la obtención de un fertilizante con liberación sostenida de fósforo, enriquecido con otros macro y micronutrientes, que puede producirse por pirólisis de pizarra piramidal en combinación con pizarra calcárea y con rocas
25 fosfatídicas naturales. La invención presenta un procedimiento para la obtención de un fertilizante sólido con liberación sostenida de fósforo, enriquecido con Ca, Mg, S, Si y micronutrientes, por una combinación de pirólisis de una pizarra piramidal a una temperatura de 450 a 500 °C, con la adición de esquisto calcáreo y de una roca fosfatídica.

- 30 Las solicitudes de patente JP2015189591 y JP2017031013 se refieren a materias primas de fertilizantes de fosfato que contienen óxidos tales como CaO , SiO , PO y óxido de hierro (en términos de Fe), donde la relación total de concentración de presencia de una o más clases de solución de $Ca (PO) - CaSiO$, $5CaO SiOPO$ y $7CaO.2SiO.PO$ es más del 15% en masa de la materia prima de fertilizante de fosfato; y en donde la escoria de la composición
35 descrita anteriormente se funde a entre 1000 y 1700 °C, y luego se enfría a 10 °C / min o más a 600 °C.

La solicitud de patente WO2016058067 enseña una composición de revestimiento de fertilizante que comprende especialmente termofosfato de magnesio o termofosfato de

potasio, que cuando se aplica a fertilizantes solubles en agua forma una capa protectora de fertilizante al 100% que permite la liberación lenta del fertilizante encapsulado soluble en agua. La composición de revestimiento fertilizante de liberación lenta comprende en % en peso: a) 50-99% en peso de fertilizante a revestir; b) 0,1-10% en peso de almidón pregelatinizado; c) 1-50% en peso de termofosfato de magnesio y/o potasio; d) 1-30% en peso de ácido sulfúrico; e) 1-30% en peso de ácido fosfórico, en una concentración de 20-85%; f) 0-5% de bentonita; y g) 0-50% de fenolito de potasio calcinado en polvo.

El documento de patente US9422202 se refiere a un fertilizante de fósforo y potasio obtenido por fusión de materias primas que contienen pentóxido de fósforo (P_2O_5), preferentemente contenido en minerales de fósforo tales como apatita y fosforita; óxido de potasio (K_2O), contenidos preferiblemente en minerales de potasio tales como rocas de potasio y fonolita. Además, presenta el proceso para la obtención del fertilizante que comprende a partir de mezclas de rocas alcalinas y rocas fosfatadas naturales de diferentes orígenes, fundirlas y luego realizar un enfriamiento rápido en agua, transformando en un material vítreo y amorfo, con fases de potasio, fósforo y silicio que son solubles en ácidos débiles. Las materias primas seleccionadas se homogeneizan, se funden a temperaturas cercanas a 1700 °C en un proceso continuo y se moldean concomitantemente en agua para enfriar (80 litros de agua / 1 Kg de líquido fundido), con el fin de evitar la recristalización, obteniendo la solidificación de pequeñas partículas vítreas y amorfas que después de drenar el agua se secan y se trituran a tamaño de partícula de malla 100, con el fin de obtener el fertilizante de fósforo-potasio.

De acuerdo al estado de la técnica, aún se presenta la necesidad de contar con un proceso o procedimiento amigable ambientalmente para la obtención de termofosfatos a partir de roca fosfórica o minerales fosfatados que disminuya los gastos energéticos de los procesos convencionales, sin demanda de alta cantidad de materia prima o de materia prima seleccionada, que sea un proceso limpio donde no se contamine el producto con material particulado desprendido durante la fusión de las materias primas; además, que el material termoformado pueda ser adecuadamente controlado en el balance de nutrientes y micronutrientes.

Breve descripción de la invención

La presente invención soluciona los problemas técnicos planteados anteriormente al proporcionar un proceso para la obtención de termofosfatos en horno de inducción a partir de roca fosfórica o mineral fosfatado que comprende caracterizar una muestra de roca fosfórica o mineral fosfatado, caracterizando especialmente su nivel de fósforo total, soluble y asimilable, triturar la roca fosfórica o mineral fosfatado hasta obtener tamaños de partículas de 2 a 4 milímetros, introducir o cargar la roca fosfórica o mineral fosfatado al horno de inducción el cual tiene crisoles hechos de grafito, carburo de silicio o alúmina, opcionalmente agregar aditivos tales como carbonato de calcio, carbonato de sodio, caliza, peridotita, serpentina o puzolanas, calentar el horno de manera controlada hasta alcanzar la calcinación o fusión de la carga mediante rampas de calentamiento de 100 °C cada 20 minutos hasta alcanzar máximo 1500 °C, enfriar el mineral fusionado en agua (40 litros por 1 Kg de mineral); secar el termofosfato obtenido y opcionalmente reducir el tamaño del termofosfato obtenido según requerimientos.

Breve descripción de figuras

Las figuras que acompañan la descripción ilustran, a modo de ejemplo, realizaciones de la presente invención, no buscan ser limitantes de esta:

20

La figura 1 presenta la comparación entre el espectro policristalino y monocristalino de una muestra RTF por análisis de difracción de rayos X por el método de muestra en polvo.

La figura 2 presenta la espectrometría de fluorescencia de rayos X (EFR-X) para una muestra RTF.

25 **La figura 3** presenta el análisis termogravimétrico para una muestra RTF.

La figura 4 presenta un difractograma de rayos X a una muestra sin tratamiento RTF.

La figura 5 presenta los porcentajes de material amorfo y cristalino de una muestra sin tratamiento RTF.

30 **La figura 6** presenta un difractograma de rayos X a un material tratado a altas temperaturas RTF-1300.

La figura 7 presenta los porcentajes de material amorfo y cristalino de un material tratado a altas temperaturas RTF-1300.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

El desarrollo de termofosfato como fertilizantes agrícolas, supone un tratamiento a altas temperaturas, que evidencien una transformación mineralógica de las especies presentes y un aumento en la solubilidad de los elementos necesarios para el fertilizante, en este caso, por ser un fertilizante fosfatado, el principal elemento que deberá ser soluble posterior a los tratamientos será el fósforo.

La presente invención proporciona un proceso para la obtención de termofosfatos en horno de inducción a partir de roca fosfórica o mineral fosfatado. La roca fosfórica o mineral fosfatado es caracterizado, conociendo especialmente su nivel de fósforo total, soluble y asimilable, para comparar estas características luego de hacer el tratamiento a altas temperaturas. El proceso inicia con la trituración de roca fosfórica o mineral fosfatado, extraído de mina y preparado mecánicamente, hasta obtener tamaños de partículas de 2 a 4 milímetros, este tamaño se escoge para hacer un paralelo al tamaño de grano utilizado comercialmente en fertilizantes, reconociendo que un horno eléctrico de inducción puede trabajar con mayores o menores tamaños a éste. Las cantidades de fósforo o tenor de la roca son aceptables de bajos a altos niveles, es decir, una roca fosfórica de bajo tenor como un 9% de fósforo es aceptable, debido a que comercialmente existen fertilizantes con esta cantidad del elemento, aunque evidentemente en cuanto mayor sea el nivel de fósforo, mayor aporte o más rango de manejo se puede brindar al termofosfato (fertilizante).

Luego la roca fosfórica o mineral fosfatado triturado es llevado al horno de inducción para fusión, en crisoles de grafito, carburo de silicio o alúmina que permiten una inducción de la carga, se lleva sin o con el uso de aditivos como carbonato de calcio, carbonato de sodio, caliza, peridotita, serpentina o puzolanas, en diferentes relaciones (las relaciones de aditivos deben cumplir con que mínimo el 50% de la carga corresponda a roca fosfórica o mineral fosfatado y 10% de carbonato de calcio o caliza) que permite generar un bajo punto de fusión que conlleva el uso de menores temperaturas (menores a 1300 °C) que en el horno de arco eléctrico, propiedades y características propias de un fertilizantes y aporte de nutrientes. El calentamiento se realiza mediante rampas que permiten una pérdida de agua molecular de manera controlada y una recristalización controlada, hasta alcanzar la calcinación o fusión de la carga, es decir, se realiza rampas de 100 °C cada 20 minutos hasta alcanzar máximo 1500 °C, con el fin permitir el desprendimiento de carbonatos, materia orgánica y especialmente homogenizar gradualmente el comportamiento del mineral para obtener solubilidad del mismo. La temperatura de transformación del mineral para alcanzar niveles de fósforo asimilable se establece entre 1250 y 1500 °C.

Una vez alcanzada la fusión, el mineral es vertido en un tanque rápidamente en agua (40 litros por 1 Kg de mineral) a una temperatura entre 1 y 25 °C para un choque térmico abrupto, buscando obtener en el mineral una fase más soluble y que por lo general más amorfa a rangos micro estructurales de modo que aumenta la cantidad de nutrientes que aporta el fertilizante, debido al uso de aditivos empleados, además de garantizar un nivel de solubilidad y asimilación del fósforo de la roca fosfórica. El producto enfriado entra en su etapa de secado y de ser necesaria una reducción de tamaño para obtener un tamaño de partícula deseado. El secado se puede hacer de dos maneras, secado al aire (en patios) para obtener un producto con pérdida de humedad parcial o secado en una mufla o estufa de secado a temperaturas entre 105 y 120 °C, para un secado total del termofosfato.

Identificación y Muestreo

Recibidas, identificadas y almacenadas muestras de roca fosfórica se extraen y se realiza la técnica de cuarteo, para manejar cantidades de masa inferiores a la de entrada, pero con la misma representación analítica. Se utiliza como documento de referencia la norma internacional ASTM D 7430 (Standard Practice for Mechanical Sampling of Coal). Luego, se tamizan y se clasifican por granulometría en malla 4, 20 y 100; se hace uso de este material representativo para la extracción de analitos requeridos para análisis de laboratorio.

Se considera que las muestras de roca fosfóricas son de características y consideraciones similares, es decir, el comportamiento cometido de una roca fosfórica será el mismo para las demás, debido a que los minerales fosfatados presentaran procedimientos similares a altas temperaturas.

Muestreo de la roca fosfórica

Se denominará la muestra de trabajo como roca fosfórica de trabajo (RFT). El cuarteo y selección de analitos, se realizó siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D75, C702, C136.

Caracterización de la roca fosfórica

Se realizaron determinaciones analíticas, volumétricas cuantitativas, espectrofotométricas, referenciales y semi cuantitativas.

- Análisis por difracción de rayos X (DRX)

El análisis de difracción de rayos X por el método de muestra en polvo, es un análisis estructural que permite identificar las especies mineralógicas de acuerdo con su ordenamiento atómico regular. En un difractograma de rayos X, la ordenada, presenta la

intensidad de los picos (fotones/segundo) mientras que en la abscisa el ángulo 2Θ (ángulo de Bragg). Ambos ejes coordinados exhiben el espectro policristalino hallado (izquierda), se compara este con los difractogramas teóricos individuales de cada especie mayoritaria (derecha), como se muestra en la figura 1. La comparación entre el difractograma obtenido de la muestra policristalina y el diagrama teórico muestra la presencia de una gran cantidad de cuarzo y fluorapatita, bajos contenidos de cristales de brucita y mullita; lo que hace a la muestra en esencia una apatita con alto contenido de arena silícea.

La intensidad de los picos de SiO_2 dentro de varios difractogramas obtenidos, denotan la preferencia cristalográfica de las arenas silíceas. Se presenta esencialmente presencia de minerales ricos en fósforo, sílice, calcio y magnesio; denotando la similitud de cualquier mineral fosfatado en cuanto especies mineralógicas.

- Espectrometría de fluorescencia de rayos X (EFR-X)

El análisis de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X cuantifica la energía liberada en forma de fluorescencia cuando el electrón pasa de un orbital de mayor energía a otro de menor energía. En este caso específico se requiere de una radiación de rayos X para producir fluorescencia en determinados materiales; la cual se utiliza con fines de identificación y de cuantificación.

Los resultados obtenidos tras la realización del EFR-X en cada muestra o analito de roca fosfórica, brinda un valor complementario al análisis del DRX; al conocer las especies de mayor cuantía y la composición elemental.

Observando el análisis de EFR-X, figura 2, se puede afirmar que la muestra no contiene carbonatos de calcio ni óxidos del mismo. Todo el calcio contenido en la RFT está en forma de fluorapatita. El alto contenido de Si se encuentra como sílice (SiO_2) en cristales de cuarzo y mullita (nesosilicato).

- Termogravimetría (TGA)

El análisis termogravimétrico es una técnica que estudia los cambios másicos que registra un analito al exponerse a calentamiento controlado en atmosfera inerte, oxidante o reductora, según sea el caso de estudio. Los cambios de masa registran la degradación física que ponen de manifiesto cambios químicos importantes dentro de un estudio científico, las características de estos cambios (rango de temperatura, pérdida de masa, tipo de reacción, pendiente de cambio y la información pertinente del analito) son fundamentales para la interpretación adecuada del termógrafo.

El análisis de TGA es relevante dentro de la caracterización de la roca fosfórica; debido al comportamiento al calentamiento, permitiendo así escoger el método adecuado en la producción del fertilizante.

5

Se presenta el termógrafo de una muestra analizada de mineral de roca fosfórica, figura 3; muestra en verde el comportamiento de la pérdida de masa en función de la temperatura, por otro lado, la línea azul denota el flujo de calor que sufre la muestra durante el ensayo.

- 10 La muestra de RFT pierde en total 6.507% en peso. Se observa una pérdida inicial entre los 110 a los 150 °C proveniente del secado o agua de humedad. Entre los 450 a los 650 °C se libera agua molecular proveniente de los silicatos hidratados y de los probables óxidos de hierro hidratados. Otra pérdida de peso dentro del ensaño térmico es la generada entre 750 a 900 °C probablemente de materia orgánica amorfa, esta consideración se debe a que
- 15 el análisis de DRX no muestra moléculas cristalinas de carácter orgánico ni carbonatos existentes, los cuales tiende a degradarse en un intervalo de temperatura entre 850 a 1000 °C.

- Petrografía (secciones delgadas)

20

Para proporcionar una muestra representativa del canto mineralógico es preferible tomar un número considerable de fragmentos pequeños de distintos puntos, a tomar unos pocos fragmentos de gran tamaño, estos especímenes deben tener un tamaño no menor de 5 cm.

- 25 La muestra representativa presenta las siguientes características generales:

- Textura organogena, su capa superficial está formada por restos de seres vivos.
- Fuerte olor aliáceo.
- Roca compacta de tipo sedimentario.
- 30 • Presenta bioclastos en forma de cilindros macizos y pelles de aproximadamente 1.5 mm.
- Reacción negativa al contacto con HCl.
- Nula atracción a imán.
- Fácil disgregación a presión manual.

35

En general, las rocas fosfóricas contienen moderadas cantidades de silicio en forma de cuarzo, limolita (arcillas de hierro y aluminio) y lidita como silicato de fosforo. El cuarzo se encuentra inmerso en la colofana y las arcillas se pueden por deslamado puesto que son

fácilmente diluibles en agua. La adecuada preparación liberaría el mineral fosfatado de la fluorapatita, colofana y kryzhanovskita.

- Ensayo de degradación térmica

5

El ensayo de degradación térmica permite comprender como las muestras sufren degradación al calcinarse hasta los 950 °C; el tamizaje de estas permite conocer la degradación que sufren y la liberación de pequeños granos que pueden afectar los hornos.

10 Se analiza la respuesta del material RFT a altas temperaturas en términos de pérdidas de peso por calcinación y degradación del mineral por medio del calentamiento estático en mufla de laboratorio al exponerlas a 950 °C por cuatro horas.

15 De los 100,0012 gramos iniciales; 5,4352 gramos son perdidas de peso por calcinación (5,4351 %); comparados con los 6,507% mostrados en el ensayo de TGA para la misma muestra (llevado hasta 1400 °C) se comprende la exacta relación entre ambos ensayos a 950°C. Las primeras reacciones físicas y químicas de la muestra son:

- Reacción endotérmica por pérdida de humedad entre los 100 a 130 °C.
- 20 • Reacción endotérmica por pérdida de agua de composición entre los 400 a 550 °C.
- Pérdida de materia orgánica entre los 700 a 950 °C, reacción levemente exotérmica.
- Más del 80% del material tamizado no pasa de su tamaño inicial (malla 4). El 14,6012 % se puede considerar como la rotura de un cierto número de granos a la mitad; por lo que aproximadamente el 95 % del material sufre baja degradación al someterse a
- 25 temperaturas de 950 °C.

Tratamiento a altas temperaturas de los termofosfatos

El termofosfato, como producto de procesos térmicos a partir de rocas fosfóricas o rocas fosfatadas, es un pilar de compuestos, que generaran diferentes características y comportamientos frente a la asimilabilidad del suelo. Siendo de vital importancia la naturaleza de las especies presentes en la roca que son o serán convertidas en una forma disponible para las plantas.

35 Las características y compuestos, resultan también en las necesidades termodinámicas para las transformaciones de la roca. Los compuestos de mayor relevancia química y termodinámica son CaO, MgO, SiO₂ y los productos fosfatados P₂O₅. Esto no quiere decir que serán los únicos indicadores mineralógicos a considerar en la roca, sino que orientan de manera importante los procesos de transformación térmicos.

Las pérdidas de peso por degradación de carbonatos presentes, son una reacción totalmente endotérmica, sucede entre los 850 a 1000 °C debido a que es muy frecuente encontrar en su mayoría CaCO_3 . Las rocas fosfóricas del análisis no presentaron dicha especie, en los TGA no son evidentes las pérdidas por este compuesto. Además, en el análisis químico en contacto con ácido clorhídrico concentrado (HCl) no se produjo efervescencia.

Basándonos en los TGA obtenidos de las muestras se puede deducir relaciones generales entre estas. La presencia de cuarzo es evidente en este tipo de minerales, es así como lo demuestran los resultados de DRX y análisis de película delgada; el SiO_2 puede sufrir transformaciones alotrópicas por calentamiento. Según el TGA de las especies analizadas, entre los 750 a 810 °C se presenta una pérdida de peso, esta degradación se puede suponer principalmente como la combustión de materia orgánica que presenta un efecto sobre esta pérdida de peso en aumento de energía (mW), se genera una reacción exotérmica por la quema del carbono estructural de moléculas orgánicas.

El cuarzo es la especie mineralógica más abundante; las transformaciones más conocidas son cuarzo- α , cuarzo- β , tridimita y cristobalita debido a que suceden a altas temperaturas cuando no es posible trabajar con presiones tan altas (Gpa). La segunda especie mineralógica de mayor cuantía es la fluorapatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$), tras la calcinación se descompone generando la liberación del flúor; el desfluorado se produce mediante la adición de agentes, tales como compuestos de ácido fosfórico y soda, en mezcla de cantidades controladas con roca fosfórica a temperaturas que varían aproximadamente entre 1370 °C a 1510 °C, condiciones que conducen fuera el flúor y convierte el no disponible fosfato a la forma biológicamente disponible. El proceso transforma la roca fosfórica al fosfato desfluorado con una relación P/F de más de 100.

No se aprecia pérdida alguna entre los 1300 a 1400 °C debido a que la estructura apatítica que contiene flúor es muy estable; a menos que se mezcle con agentes que favorezcan la descomposición.

Ejemplo 1: Cantidad de fósforo asimilable

Aplicando las condiciones del proceso de la invención y haciendo uso de la siguiente proporción: roca fosfórica 80%, puzolanas 10% y caliza 10%, se obtuvieron porcentajes de fósforo asimilable mayor en muestras de minerales después del tratamiento térmico al contenido en rocas inicialmente o sin tratamiento. De igual manera que en la determinación

de roca fosf3rica, con el uso de la norma t3cnica colombiana NTC 234, se encuentra variaciones en las cantidades de f3sforo.

Tabla 1. Fosforo asimilable en muestras de rocas fosf3ricas de trabajo (RTF)

	% P2O5 TOTAL	% P2O5 soluble en agua	% P2O5 soluble en citrato de amonio	% P2O5 soluble en agua respecto al P2O5 total	% P2O5 soluble en citrato de amonio respecto al P2O5 total
<i>RFT1</i>	16.5708	0.2285	2.591	1.3789316	15.635938
	15.9	0.22575	2.617	1.4198113	16.459119
<i>RFT2</i>	33.4348	0.09925	4.023	0.2968464	12.032373
	32.806	0.103	3.958	0.313967	12.064866
<i>RFT3</i>	24.1392	0.228	3.49	0.9445218	14.457811
	23.9044	0.2215	3.853	0.9266077	16.118372

Tabla 2. Fosforo asimilable en las muestras RTF despu3s del tratamiento t3rmico

	% P2O5 TOTAL	% P2O5 soluble en agua	% P2O5 soluble en citrato de amonio	% P2O5 soluble en agua respecto al P2O5 total	% P2O5 soluble en citrato de amonio respecto al P2O5 total
<i>RFT1</i>	14.836	0.3489	3.523	2.3517121	23.746293
	14.165	0.3245	3.801	2.2908577	26.833745
<i>RFT2</i>	28.401	0.1277	7.722	0.4496321	27.189183
	28.942	0.1309	7.591	0.4522839	26.228319
<i>RFT3</i>	22.766	0.2619	5.316	1.1503997	23.350611
	22.831	0.2589	5.265	1.1339845	23.060751

Basados en los resultados, y realizando comparaciones entre la naturaleza del mineral antes y despu3s del tratamiento a alta temperatura, tablas 1 y 2, se puede decir, que el tratamiento realizado a la roca fosf3rica en horno de inducci3n, con el uso de aditivos, aumento la cantidad de f3sforo soluble en agua y en especial el f3sforo asimilable, le3do como f3sforo asimilable en citrato de amonio, haciendo del procedimiento una alternativa al uso de otros aditivos, d3ndole importancia a la caliza y no a la cal viva, tambi3n a la puzolanas y el uso del horno de inducci3n y el rango de temperaturas relativamente bajo que se maneja para la calcinaci3n o fusi3n de la carga.

Ejemplo 2: Difractogramas de rayos X

Se realizó el procedimiento de difracción de rayos X (DRX) a dos muestras, una muestra sin tratamiento y un material tratado a altas temperaturas en horno de inducción para comprobar la transformación mineralógica que sufre el material tratado.

5

La comparación de las figuras 4 y 6 permite inferir que se presentó un cambio de fase mineralógico, convirtiendo el mineral fosfatado como fluorapatita a un trifosfato de calcio, es decir el tratamiento a altas temperaturas si genero un cambio en su estructura; Además, de una perdida de cristalinidad, comparación de las figuras 5 y 7, donde se observa un incremento notorio en la fase amorfa al pasar de un 37,3 % en el material sin tratamiento a un 61,5 % en el material tratado, esto debido al choque abrupto que se generó en el mineral al alcanzar los cerca de 1300 °C, no permitiendo una recristalización completa en el material y haciéndolo más soluble.

15 Como algunas ventajas de la presente invención, se tiene que las rocas fosfóricas que se usan como base para la producción de termofosfatos por medio de este proceso no exigen unas cantidades elementales precisas, debido a que se puede realizar el tratamiento a alta temperatura a cualquier tenor o cantidad de fosforo y otros elementos presentes en la roca fosfórica, considerando que cualquier tipo de mineral rico en fosforo o roca fosfórica presentara un comportamiento semejante o parecido frente al proceso a altas temperaturas, es decir, posibilita el uso de los minerales fosfatados o rocas fosfóricas. Además, se produce el termofosfato con o sin aditivos y el uso de mineral fosfatado aportando al suelo o cultivo agrícola macronutrientes esenciales.

25 El empleo de aditivos (caliza, carbonato de sodio, puzolanas, peridotita o serpentina), genera un comportamiento fundente sobre el mineral y el material cargado generando un punto de fusión o fusión incipiente a baja temperatura, cercana a los 1300 °C en el horno de inducción comparados con los 1800 °C o mayores que se requiere en un horno de arco eléctrico, bien sea que se utilicen crisoles de grafito, carburo de silicio o refractarios.

30

Otras ventajas del proceso de la invención son: El horno eléctrico de inducción optimiza el uso energético, requiere menor energía para tratar el mineral y no exige elevadas cantidades de mineral para su operación, contando con un proceso limpio en cuanto al control de los materiales agregados sobre la carga del horno, como lo son MgO, CaO, Na₂CO₃, SiO, provenientes de minerales como peridotita, caliza, carbonato de sodio, serpentina y puzolanas, que se emplean en múltiples relaciones; además, no se contamina el termofosfato obtenido con el contacto de electrodos, como ocurre con los hornos convencionales de arco eléctrico, material carburante o aditivos que afectan las capacidades propias de un fertilizante como su solubilidad y la cantidad de nutrientes

35

fundamentales como calcio, magnesio y silicio que este puede entregar, especialmente fosforo asimilable o soluble.

Las descripciones anteriores, de elementos y realizaciones específicas de la presente
5 invención se han presentado con fines de ilustración y descripción. Estas no pretenden ser exhaustivas o limitar la invención a las formas precisas descritas. Las modificaciones y variaciones son posibles a la luz de las enseñanzas anteriores. Las realizaciones se describieron con el fin de explicar mejor los principios de la invención y su aplicación práctica, para permitir a otros expertos en la técnica utilizar mejor la invención y variar las
10 realizaciones con modificaciones que sean adecuadas al uso particular contemplado.